DOSSIER TÉCNICO OFICIAL • ALZADO ROJO

MANUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA & CONFORT TÉRMICO

Guía práctica de cálculo de transmitancia U, puentes térmicos, simulación bioclimática horaria y cumplimiento reglamentario OGUC 4.1.10 y acreditación CEV en Chile.

EnergyPlus	EcoDesigner STAR	Ladybug / Radiance	Norma OGUC & CEV
Simulación Dinámica	Balance BIM Archicad	Asoleamiento & sDA	Cumplimiento MINVU

Adolfo Risopatrón Inzunza
Arquitecto • Magíster en Arquitectura Sustentable y Energía (MASE UC)
Director de Estudio Alzado Rojo (AR ARQ SpA)

Edición 2026 // Versión 1.0
Santiago de Chile • www.ar-arq.cl

1. Fundamentos de Física de Edificios & Balance Térmico Dinámico

El confort higrotérmico interior es una ecuación matemática de flujos de calor, masa y radiación.

En el diseño arquitectónico contemporáneo, la envolvente edilicia no puede considerarse una mera piel formal. Opera como una membrana de intercambio termodinámico continuo entre el microclima exterior y los requerimientos biológicos de confort humano (rango adaptativo de **19°C a 24°C** con humedad relativa entre 40% y 60%).

```
Q_balance = (Q_conduccion + Q_ventilacion) - (Q_solar + Q_interna + Q_calefaccion)
// Donde Q_balance = 0 representa el estado de equilibrio térmico estacionario.
```

1 Transmitancia Térmica (Valor U) vs Resistencia Térmica (R)

La transmitancia térmica (U, medida en W/m^2K) cuantifica la tasa de calor que atraviesa un metro cuadrado de envolvente por cada grado Kelvin de diferencia de temperatura entre ambientes. A menor valor U, mayor capacidad de aislamiento.

```
R_total = R_se + Σ (e_i / λ_i) + R_aire + R_si   ⟹   U = 1 / R_total
// e = espesor (m) | λ = conductividad térmica del material (W/mK) | R_si, R_se = resistencias superficiales.
```

- **Lana Mineral / Lana de Vidrio:** $\lambda \approx 0.038 - 0.042\ W/mK$. Gran aislante térmico y acústico incombustible.
- **Poliestireno Expandido (EPS alta densidad):** $\lambda \approx 0.035\ W/mK$. Ideal para sistemas EIFS exteriores.
- **Hormigón Armado:** $\lambda \approx 1.63\ W/mK$. Alta inercia térmica pero nula resistencia; requiere aislamiento continuo exterior obligatorio.

2 Inercia Térmica y Capacidad de Amortiguamiento Diurno

En climas mediterráneos semiáridos como la cuenca central de Chile (Santiago, Rancagua, Los Andes), la oscilación térmica diurna en verano supera frecuentemente los **18°C a 20°C** (máximas de 34°C diurnas, mínimas de 14°C nocturnas). La inercia térmica de muros de tierra compactada, ladrillo macizo u hormigón desacoplado retarda el paso de la onda de calor (desfase térmico de **6 a 9 horas**), permitiendo que la temperatura máxima exterior ingrese al interior recién de madrugada, cuando puede evacuarse mediante ventilación nocturna pasiva.

2. Cumplimiento Reglamentario OGUC 4.1.10 (Chile)

Exigencias de acondicionamiento térmico en techumbres, muros, pisos ventilados y ventanas según zonificación MINVU.

El Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) establece los estándares mínimos obligatorios de transmitancia térmica para edificaciones residenciales en Chile, dividiendo el territorio nacional en **9 Zonas Térmicas (Zonas 1 a 9)**.

Zona Térmica	Ciudades de Referencia	Techo U máx	Muro U máx	Piso U máx	Vidrio máx
Zona 1	Arica, Iquique, Antofagasta	0.84 W/m²K	4.00 W/m²K	3.60 W/m²K	Monovidrio libre
Zona 2	Copiapó, La Serena, Coquimbo	0.60 W/m²K	3.00 W/m²K	3.60 W/m²K	Monovidrio libre
Zona 3	Santiago Centro, Quillota, Rancagua	0.47 W/m²K	1.90 W/m²K	3.60 W/m²K	Monovidrio / DVH
Zona 4	Talca, Chillán, Concepción	0.38 W/m²K	1.70 W/m²K	3.60 W/m²K	DVH recomendado
Zona 5	Temuco, Los Ángeles, Valdivia	0.33 W/m²K	1.60 W/m²K	0.87 W/m²K	Doble Vidriado Oblig.
Zona 6	Osorno, Puerto Montt, Chiloé	0.28 W/m²K	1.10 W/m²K	0.70 W/m²K	DVH Low-E + Argón
Zona 7	Coyhaique, Aysén, Puerto Natales	0.25 W/m²K	0.60 W/m²K	0.50 W/m²K	Triple Vidriado / RPT
Zona 8 y 9	Punta Arenas, Antártica, Cordillera	0.20 W/m²K	0.45 W/m²K	0.35 W/m²K	Estándar Passivhaus

[ALERTA MINVU] ACTUALIZACIÓN REGLAMENTARIA HACIA NUEVAS EXIGENCIAS

La actualización de la reglamentación térmica nacional endurece los límites de transmitancia en muros de Zona 3 a valores cercanos a **0.50 W/m²K**. Diseñar hoy con los límites mínimos históricos de 1.90 W/m²K condena al edificio a la obsolescencia energética y a facturas eléctricas astronómicas.

3. Patologías Críticas: Condensación Intersticial & Puentes Térmicos

Cómo evitar la formación de hongos y pérdidas masivas de calor en nudos estructurales.

1 Condensación Intersticial y la Regla de Oro de las Membranas

La condensación superficial ocurre cuando el aire caliente y húmedo interior choca con una superficie fría por debajo de la **temperatura de rocío** (T_{rocio}). La condensación intersticial ocurre dentro del tabique, pudriendo montantes de madera, oxidando perfiles volcometal y arruinando el aislamiento.

- **Barrera de Vapor (Polietileno 0.2 mm o papel kraft sellado):** Debe colocarse SIEMPRE en la **cara cálida** de la aislación (hacia el interior del recinto). Impide que la humedad interior ingrese a la estructura.
- **Membrana Hidrófuga y Respirable (Tyvek / Durex):** Debe instalarse en la **cara fría exterior**. Impide el paso de agua líquida y viento exterior, pero permite la difusión del vapor remanente hacia afuera.

2 Neutralización de Puentes Térmicos Lineales (Ψ)

Un puente térmico es una discontinuidad de la resistencia térmica provocada por cambios de espesor, nudos estructurales (encuentro de losa con muro de fachada, dinteles de vano, jambas de ventana) o fijaciones metálicas. Puede generar hasta un **30% de las pérdidas totales de calor** de una vivienda.

- **Solución EIFS (Exterior Insulation and Finish System):** Al envolver el edificio con aislamiento exterior continuo de poliestireno o lana mineral de 50 mm a 100 mm, se eliminan todos los puentes térmicos de borde de losa.
- **Ruptura de Puente Térmico (RPT) en Ventanas:** Los perfiles de aluminio sin RPT transmiten el frío directo al interior, condensando agua en los marcos. Usar PVC multcámara o aluminio con poliamida intermedia.

4. Estrategias Bioclimáticas Pasivas

Asoleamiento controlado, protección solar paramétrica y ventilación natural adaptativa.

1 Cálculo Geométrico de Aleros y Celosías Solares

En el hemisferio sur, la fachada **Norte** recibe la radiación solar benéfica de invierno a ángulos bajos (altura solar $\alpha \approx 33^\circ$ en Santiago a mediodía de junio), y radiación cenital de verano a ángulos altos ($\alpha \approx 80^\circ$ en diciembre).

```
Profundidad_Alero = Altura_Ventana / tan(α_verano)
// Un alero horizontal fijo en fachada Norte bloquea el 100% del sol de verano y deja entrar el sol de invierno.
```

Para fachadas **Oriente y Poniente**, el sol viaja bajo en el horizonte matinal y vespertino. Los aleros horizontales son inútiles: se requiere vegetación caduca, celosías verticales o persianas exteriores

orientables.

2 Ventilación Cruzada Natural y Efecto Chimenea

La ventilación cruzada requiere vanos enfrentados en fachadas sometidas a diferente presión aerodinámica (barlovento y sotavento). En climas calurosos, la ventilación nocturna descarga la masa térmica del edificio:

- **Efecto Chimenea:** Aire frío ingresa por aperturas bajas; aire caliente asciende y evacúa por lucarnas altas o aberturas cenitales.
- Tasa de renovación nocturna recomendada: **4 a 6 renovaciones de aire por hora (ACH)** entre 23:00 y 07:00 hrs.

5. Flujo de Simulación Dinámica Computacional

Del modelo BIM paramétrico al cálculo horario en EnergyPlus y Archicad EcoDesigner STAR.

1 Archicad EcoDesigner STAR (Evaluación Integrada en BIM)

Permite vincular el modelo de información de construcción (BIM) directamente al motor VIP-Core sin exportaciones intermedias corruptas:

- **Zonificación Térmica (Thermal Blocks):** Asignar recintos a bloques térmicos según carga interna y perfil de uso (Dormitorios, Estar/Comedor, Baños/Servicio).
- **Asignación de Estructuras:** Detección automática de superficies de envolvente en contacto con aire exterior, terreno o recintos no calefaccionados.
- **Archivo Climático (.EPW):** Cargar datos meteorológicos horarios oficiales de la estación más cercana (Pudahuel, Tobalaba, Carriel Sur, El Tepual).

2 EnergyPlus & Grasshopper Ladybug Tools

Para proyectos de alta complejidad o certificación LEED / Passivhaus / CEV:

- **Ladybug Solar Analysis:** Mapeo de radiación acumulada (kWh/m^2) sobre superficies exteriores en Rhinoceros para ubicar paneles fotovoltaicos y colectores solares.
- **Radiance sDA / ASE:** Simulación de autonomía de luz natural diurna ($sDA_{300,50\%}$) para garantizar que al menos el 75% del espacio reciba luz solar difusa sin encender ampolletas durante el día.

6. Pre-Evaluación para Calificación Energética de Viviendas (CEV)

El sello oficial del MINVU que valoriza los proyectos inmobiliarios y reduce el dividendo bancario.

La Calificación Energética de Viviendas (CEV) evalúa la eficiencia de la envolvente y los sistemas activos de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación, otorgando una letra desde **A+ (ahorro superior al 85%)** hasta **G (sin ahorro respecto a estándar base)**.

1 Indicadores Clave del Informe CEV

- **Demanda de Calefacción ($kWh/m^2\cdot año$):** Energía térmica necesaria para mantener el edificio en confort durante el período frío.
- **Demanda de Enfriamiento ($kWh/m^2\cdot año$):** Energía térmica requerida para evitar sobrecalentamiento estival.
- **Porcentaje de Ahorro (%):** Comparación directa contra la "Vivienda de Referencia" que cumple estrictamente el mínimo de la OGUC.

7. Matriz de Errores Constructivos Frecuentes & Soluciones

Guía rápida de diagnóstico en terreno y fase de proyecto.

Error / Síntoma	Causa Técnica	Solución Constructiva Recomendada
Moho negro detrás de cabeceras de cama y clósets	Puente térmico en encuentro losa-muro o falta de barrera de vapor en tabique perimetral.	1. Instalar polietileno de 0.2 mm en la cara cálida antes de la placa de yeso-cartón. 2. Aislar térmicamente el retorno de losa exterior con placa EIFS. 3. Diseñar separadores de 5 cm entre muebles fijos y muros exteriores fríos.
Ventanas termopanel "lloran" agua en los marcos	Perfil de aluminio estándar sin Ruptura de Puente Térmico (RPT).	1. Especificar marcos de PVC foliado multcámara o aluminio con RPT. 2. Verificar que el vidrio DVH cuente con espaciador térmico (Warm Edge). 3. Incorporar microventilación pasiva autorregulable en cabezal de ventana.
Sobrecalentamiento sofocante en segundo piso en verano	Falta de aislación en techumbre y ausencia de cámara de aire ventilada en entretecho.	1. Incrementar espesor de lana mineral a **160 mm – 200 mm** en cielo. 2. Instalar cumbrera ventilada y celosías en tímpanos para evacuar colchón de aire caliente. 3. Aplicar barrera radiante reflectiva de aluminio bajo la placa de cubierta.
Sensación de "muro frío" pese a tener calefacción encendida	Baja temperatura radiante media (T_{rm}) por transmitancia excesiva del muro.	1. El confort térmico no depende sólo del aire: depende de la radiación de los muros. 2. Reducir valor U del muro a menos de **0.40 W/m²K** para que la superficie interior no baje de 17°C en invierno.

[LISTA DE CHEQUEO] CONTROL PRE-INGRESO DOM & CONSTRUCCIÓN

1. ¿Verificaste la Zona Térmica exacta según la comuna en el listado oficial MINVU?
2. ¿El cálculo de transmitancia U incluye las resistencias superficiales ($R_{si} + R_{se}$)?
3. ¿La barrera de vapor está en la cara interior y la membrana hidrófuga en la exterior?
4. ¿Se coordinaron los detalles constructivos de alféizares, dinteles y retornos de losa?